Untersuchung über die Gesetze der Nervenerregung.

Von Prof. **Ernst v. Fleischl,**
Assistenten am physiologischen Institute der Wiener Universität.

(Mit 2 Holzschnitten.)

VII. Abhandlung.

Die Erregung stromloser Nerven.

In der ersten[1] und zweiten,[2] sowie in der sechsten[3] Abhandlung dieser Untersuchungen habe ich ein Zuckungsgesetz rein empirischer Natur aufgestellt — das heisst: ich habe den Versuch gemacht, einen möglichst allgemeinen und kurzen Ausdruck für Thatsachen zu finden, welche sämmtlich unmittelbar durch die Erfahrung am Nerven gewonnen waren, ohne gleichzeitig Vermuthungen über die Natur und die Begründung dieser Thatsachen zu äussern, und ohne irgendwelche Consequenzen aus ihnen zu ziehen.

Ich sah mich genöthigt, den Nerven in seinem Verlaufe in mehrere „Strecken" einzutheilen, an deren jeder sich dasselbe Zuckungsgesetz wiederholt: Grössere Empfindlichkeit jeder Nervenstelle für Ströme, welche gegen den „Äquator" der betreffenden Strecke zu gerichtet sind, als für entgegengesetzt gerichtete; gleiche Empfindlichkeit für beide Stromrichtungen am Äquator; Zunahme des Unterschiedes in der Empfindlichkeit für die beiden Stromrichtungen mit zunehmender Entfernung vom Äquator.

[1] [2] [3] Diese Berichte, Bde. 72, 74, 82.

Diese Eintheilung des Nerven in mehrere Strecken hat sich nun als besonders geeignet erwiesen, Bedenken und Widerspruch hervorzurufen — nicht was die Thatsache selbst anlangt, die von allen Seiten bestätigt wird, sondern mehr in Bezug auf das ihr zukommende Gewicht.

Besonders hat man versucht, die Eigenschaft der Strecken auf den Umstand zurückzuführen, dass überall da, wo ich die Grenze zwischen zwei Strecken hinverlegt hatte, also an den „Folgepunkten", der Nerv anatomisch durch irgend etwas charakterisirt ist, entweder durch den Abgang grösserer Äste, oder durch die Vereinigung der motorischen mit der sensorischen Wurzel, oder durch den Eintritt in den Muskel. Aus diesen Verhältnissen hat man durch Schlüsse, die sofort näher beleuchtet werden sollen, die Existenz von schwachen Strömen abzuleiten versucht, derartige Ströme auch experimentell nachgewiesen, und nun aus ihnen auf verschiedene Weise das eigenthümliche Verhalten der Strecken zu erklären getrachtet.

Besonders ausgeführt findet sich ein solcher Versuch in P. Grützner's Abhandlung:[1] „Beiträge zur allgemeinen Nervenphysiologie."

Obwohl ich nun jede Begründung der merkwürdigen von mir beschriebenen Eigenschaften des Nerven aus anatomischen und physiologischen Verhältnissen für einen grossen Gewinn ansehe, so glaube ich doch meine Bedenken gegen die bisher versuchte Begründung nicht unterdrücken zu dürfen.

Ich selbst bin gleich zu Beginn meiner Arbeiten, sobald mir jene merkwürdigen Eigenschaften des Nerven bekannt geworden waren, auf diese Erklärung und Begründung derselben verfallen, habe sie aber sehr bald in Folge von Versuchen, die weiter unten erwähnt werden sollen, wieder aufgegeben.

Wenn ich nun im Folgenden mich ausschliesslich gegen den in der oben citirten Schrift Grützner's enthaltenen Erklärungsversuch wende, so geschieht dies, weil ich in den Ausführungen dieser sehr lesenswerthen Abhandlung eine wohl durchdachte, auf experimentelle Basis gegründete, und überhaupt die beste

[1] Pflüger's Archiv, Bd. XXVIII, pag. 130—179. Bonn 1882.

mir bekannt gewordene Darstellung des ganzen Argumentes erblicke.

Dieses selbst lautet nun folgendermassen. Von jedem künstlichen Querschnitte eines Nerven geht — wie wir durch E. du Bois-Reymond wissen — ein Strom durch den Nerven selbst zu einem jeden beliebigen Punkte seiner natürlichen Oberfläche, welcher Strom dann im ableitenden Bogen vom „Längsschnitte" zum Querschnitte zurückkehrt. Dieser Strom entsteht als solcher selbstverständlicher Weise erst in dem Momente, in welchem der ableitende Bogen dem Nerven angelegt wird.

Es ist für das Entstehen des gedachten Stromes gleichgiltig, und nur für seine Stärke von Bedeutung, welcher Art der angelegte ableitende Bogen ist, und in welcher Weise er angelegt wird. Wäre etwa der mit einem Querschnitte versehene Nerv ringsum von feuchten indifferenten thierischen Geweben umhüllt, so hätte man sich ihn vorzustellen als durchzogen von Stromfäden, die vom Querschnitte ausgehend in ihm verlaufen und — die einen näher, die anderen weiter entfernt vom Querschnitte — durch alle Punkte seiner Oberfläche aus ihm austreten, um dann im umgebenden Gewebe in Bahnen, welche aus bekannten physikalischen Gesetzen für bestimmte einzelne Fälle der Gestaltung des umgebenden Leiters berechnet werden können, zum Querschnitte zurückzukehren.

Sind aber einem solchen Nerven, der im Übrigen frei präparirt gedacht wird, statt der ihn allseitig umhüllenden feuchten Gewebe nur an zwei Punkten, respective kleinen Stellen seines Verlaufes Elektroden angelegt, die unter einander auf irgend eine Weise leitend verbunden sind, so werden sich allerdings nicht die ganzen Spannungsdifferenzen, welche in dem mit einem Querschnitte versehenen Nerven vorhanden sind, durch den ihm angelegten Bogen abgleichen, wohl aber wird sich ein Theil derselben in Form eines constanten Stromes abgleichen, der den Bogen und den zwischen den Elektroden gelegenen Theil des Nerven durchfliesst, und dessen Fäden im Nerven von der dem Querschnitte näher gelegenen Elektrode zur entfernteren hinziehen.

Werden nun diese Elektroden dazu benützt, um dem zwischen ihnen liegenden Stücke des Nerven, behufs der Prüfung

seiner Erregbarkeit elektrische Ströme zuzuführen, so werden diese Ströme dem im ganzen Systeme bereits vorhandenen Strome entweder gleich- oder entgegengesetzt gerichtet sein. Gleichgerichtet sind sie, nach dem eben vorgebrachten, wenn sie an der dem Querschnitte näher gelegenen Elektrode in den Nerven eintreten, an der anderen aus ihm austreten; im anderen Falle sind sie entgegengesetzt gerichtet.

Nun ist aber aus zahlreichen früheren Untersuchungen bekannt, dass caeteris paribus Stromstösse, die einen von einem Strome dauernd durchflossenen Nerven treffen, diesen stärker erregen, wenn beide Ströme gleichgerichtet sind; schwächer, wenn sie einander entgegengerichtet sind; oder, wie man es auch ausdrücken kann: erfährt ein einen Nerven durchziehender elektrischer Strom einmal eine plötzliche Zunahme, ein anderes Mal eine ebenso grosse und rasche Abnahme, so wird der Nerv durch die Zunahme stärker erregt, als durch die Abnahme.

Hieraus ergibt sich aber, dass ein mit einem Querschnitte versehener Nerv, dem zwei Elektroden angelegt sind, zufolge des ihn wegen des Querschnittes durchfliessenden Stromes, ungleich stark von zwei gleichen Strömen erregt werden muss, die ihm durch jene Elektroden zugeleitet werden, wenn diese beiden Ströme verschiedene Richtung haben; und zwar muss er durch denjenigen Strom stärker erregt werden, welcher an der dem Querschnitte näher gelegenen Elektrode in ihn eintritt.

Von derselben Art, wie diese hier deducirte Ungleichheit, und aus denselben Ursachen herrührend, soll nun nach Grützner's Ansicht auch die Ungleichheit in der Reizwirkung gleich starker, aber entgegengesetzter Ströme sein, welche ich an den „Polen" unzerschnittener Nerven erhielt. Die Rolle, welche an unserem Schema der Querschnitt gespielt hat, nämlich: einen constanten Strom im Nerven zu veranlassen, die spielt am unzerschnittenen Nerven jede Stelle, von welcher sich ein Seitenast abzweigt. Bei der Präparation sei es unmöglich, solche Seitenäste nicht entweder in ihrem weiteren Verlaufe abzuschneiden oder doch irgendwie anders zu lädiren, zu zerren, zu quetschen u. s. w. Die Thatsache, dass jede Art der Läsion am Nerven einen ganz ähnlichen Effect hat, wie die Anlegung eines Querschnittes, ist zu bekannt, als dass es nöthig wäre, sie hier noch besonders zu besprechen. Betrachten

wir nun ein Stück des unzerschnittenen Nerven, welches zwischen zwei Stellen desselben liegt, deren jede eine ähnliche Rolle spielt wie ein Querschnitt; sei es, weil Äste, welche von diesen Stellen abgehen, in ihrem weiteren Verlaufe abgeschnitten wurden, oder weil solche Äste oder die betrachteten Stellen selbst gequetscht oder irgendwie sonst lädirt wurden, so wird ein solches Stück des Nerven alternirend gerichteten, erregenden Strömen gegenüber ein Verhalten darbieten, welches mit dem von mir für eine „Strecke" des Nerven beschriebenen übereinstimmt. Die Thatsache, dass im oberen Pole jeder Strecke absteigende Ströme stärker wirken, im unteren Pole hingegen aufsteigende, wäre also nach Grützner dadurch zu erklären, dass jeder in der oberen Hälfte angelegte Bogen von einem Nervenstrome durchflossen ist, welcher im Nerven absteigt; von zwei gleichen und entgegengesetzten Reizströmen, die nun dem Nerven durch diesen Bogen Versuches halber zugeführt werden, ist der im Nerven absteigende mit dem schon von vornherein in diesem Nervenstücke kreisenden Strome gleichgerichtet, und wirkt desshalb stärker, als der aufsteigende. Diese Erklärung setzt voraus, dass an den Stellen des Nerven, welche den Enden meiner „Strecken" entsprechen, besondere anatomische Verhältnisse sich vorfinden, welche ein früheres Absterben an diesen Stellen bedingen, oder dass Äste von da abgehen, die bei der Präparation Läsionen unterworfen sind.

Am unteren Ende meiner untersten „Strecke", also vor dem Eintritte des Nerven in den Muskel, findet eine Theilung des Nerven in zwei Äste statt, und Grützner meint, es möchte vielleicht schon die hiedurch gebotene grössere Oberfläche ein früheres Absterben bedingen können. Hierin wird man ihm wohl beistimmen. Am oberen Ende dieser „Strecke" gehen die starken Äste für die Oberschenkelmuskeln ab, und diese leiden gewiss auch bei der sorgfältigsten Präparation. Auch für das obere Ende meiner mittleren „Strecke" nimmt Grützner eine leichte Verletzlichkeit an. Aber in diesen mehr anatomischen Betrachtungen liegt keineswegs der Schwerpunkt der Grützner'schen Beweisführung, sondern vielmehr in dem directen Nachweise solcher Ströme im unzerschnittenen, aufpräparirten Nerven, wie sie eben erforderlich sind, um aus ihnen die Abtheilung des

Nerven in Strecken, und die beobachteten Eigenthümlichkeiten im Verhalten der Strecke gegen reizende Ströme zu erklären. Er tastet den Nerven mit einem Paare unpolarisirbarer Elektroden ab, und weist an der Boussole regelmässig und mit Deutlichkeit Ströme nach, welche in meinen unteren Polen im Nerven aufsteigen, in den oberen Polen absteigen; da, wo meine Äquatoren liegen, findet er die Nerven stromlos.

Ich habe schon oben bemerkt, dass diese Erklärungsweise mir gleich nach der Constatirung meines Zuckungsgesetzes eingefallen war, und ich habe auch damals den Nerven mit Elektroden, die mit der Boussole verbunden waren, abgetastet, ganz wie Grützner es neulich that, aber ich muss gestehen, dass ich bei dem Versuche viel weniger glücklich gewesen bin, als dieser Forscher: ich fand solche Unregelmässigkeiten in Richtung und Stärke der auf diese Art vom Nerven abgeleiteten Ströme, dass ich gleich damals darauf verzichtete, aus diesen Strömen die Einzelheiten des Zuckungs-Gesetzes zu erklären; lange bevor ich in den Besitz besserer Argumente gelangte, welche mir nunmehr diese Erklärungsweise geradezu als unhaltbar erscheinen lassen.

Nicht als ob ich die Richtigkeit der Angaben Grützner's im Mindesten bezweifelte; aber wegen des grossen Interesses, welches diese Verhältnisse überhaupt beanspruchen dürfen, habe ich es bedauert, dass Grützner keine genaueren Angaben über seine Versuche gemacht hat, dass er uns nicht sagt, wie viele Scalentheile Ablenkung er beim Abtasten des Nerven von den einzelnen aufeinander folgenden kleinen Stückchen des Nerven erhielt, die nach und nach zwischen seine Elektroden zu liegen kamen; dass er das Schema, durch welches er seine Versuchsresultate veranschaulicht, nicht lieber durch wirkliche, experimentell gewonnene Curven ersetzt hat.

Ich muss es mir versagen, die übrigen Argumente, welche gegen die Auffassung Grützner's sprechen, hier vorzubringen, weil mich deren Erörterung zwingen würde, Theile dieser „Untersuchung", welche in späteren Abhandlungen ihren gehörigen Platz finden werden, aus ihrem natürlichen Zusammenhange gerissen, jetzt mitzutheilen. Hingegen hoffe ich, dass die Versuche, welche ich neuerlich angestellt habe, um die Stichhältigkeit der

Grützner'schen Erklärung zu prüfen, und welche ich sofort schildern werde, dem Leser jede weitere Argumentation überflüssig erscheinen lassen werden.

Wenn die schwachen Ströme, welche im aufpräparirten Nerven circuliren, die Unterschiede in der Empfindlichkeit des Nerven für beide Stromrichtungen bedingen: dann müssen diese Unterschiede wegfallen, sobald die Ströme aufgehoben werden. Grützner selbst sagt:[1] „Etwa in der Mitte zwischen Hüfte und Knie ist eine Stelle, von der aus keine Ströme in die Boussole abgeleitet werden können; das ist der Äquator von v. Fleischl, der auch für Ströme von beiderlei Richtungen gleich empfänglich ist.“ Bringe ich also ein von vornherein in einem der Pole gelegenes Nervenstück unter solche elektrische Bedingungen, dass von ihm aus keine Ströme in die Boussole abgeleitet werden können, dann muss es die Eigenschaft des Äquators acquirirt haben, für beide Richtungen gleich empfindlich zu sein — in Wirklichkeit existirt ja für ein solches, an sich von keinem Strome durchflossenes Nervenstück der von Grützner für wesentlich und bedingend gehaltene Unterschied nicht mehr: ob der reizende Strom sich zum Eigenstrome addire oder von ihm subtrahire; denn es ist gar kein Eigenstrom mehr da.

Zur Herstellung der vollkommenen Stromlosigkeit des auf sein Verhalten gegen alternirend gerichtete Ströme zu prüfenden Nervenstückes bediente ich mich natürlicherweise des Compensationsverfahrens. Als Compensator verwendete ich das in einer vorangegangenen Mittheilung[1] von mir beschriebene Ortho-Rheonom, welches sich als zu diesem Zwecke sehr geeignet erwies.

Ich füllte die grosse Kreisrinne des Rheonoms (*R*, Fig. 1) mit Quecksilber statt mit Zinksulphatlösung, verband die Zuleitungen

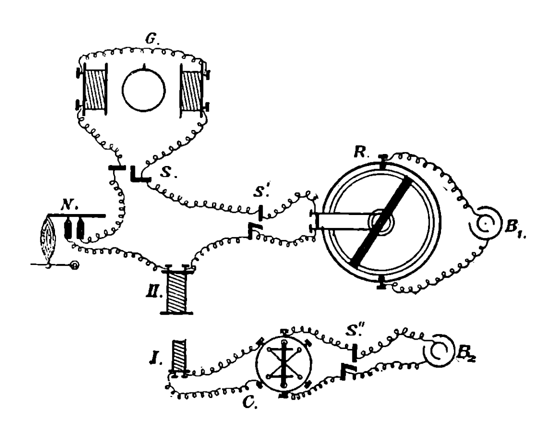
---

[1] l. c. pag. 138.

[2] E. Fleischl, Untersuchung über die Gesetze der Nervenerregung. III. Abhandlung; Das Rheonom. Diese Berichte, LXXVI. Bd. III. Abth.

zu dieser Rinne mit den Polen einer constanten Batterie (B_1), und leitete den Brückenstrom von den zu ihm gehörigen beiden Schraubenklemmen, nach Zwischenschaltung des du-Bois-Reymond'schen Schlüssels (S'), in einen Kreis, welcher die

Fig. 1.



Drahtwindungen der secundären Spirale (II.) eines Schlitteninductoriums, den über unpolarisirbare Elektroden gelagerten Nerven (N), und — abermals nach Zwischenschaltung eines Schlüssels (S) — die Windungen eines du Bois-Reymond'schen Galvanometers mit Spiegelablesung (G) enthielt. In angemessener Entfernung von der secundären Spirale befand sich die primäre (I.), die durch den Commutator (C) und den Schlüssel (S'') mit den Polen der Batterie (B_2) verbunden war.

Der Wagner'sche Hammer des Inductionsapparates war ausgeschaltet, so dass die Handhabung von S'' nur je einen Schliessungs- und Öffnungsschlag auslöste. Der Schluss bei S'' erfolgte in Quecksilber, die Schliessungsschläge waren unwirksam, für gleichmässige Geschwindigkeit der Öffnung war vorgesorgt.

Der Nerv (N) war sowohl in Verbindung mit seinem Muskel, welch' letzterer am Pflüger'schen Myographium seine Zuckungshöhen aufzeichnete, als auch in Verbindung mit dem Rückenmarke; und stellte die einzige Elektricität-leitende Verbindung zwischen Muskel und Rückenmark dar. Als Elektroden

am Nerven dienten ein Paar auf einem Gestelle angebrachte Pinsel-Elektroden.[1]

Sonst ist über diese einfache Versuchsanordnung, welche sich von der ganz gewöhnlichen Anordnung für Reizversuche mit inducirten Strömen nur dadurch unterscheidet, dass mit dem Kreise, in welchem sich nothwendigerweise der Nerv und die Inductionsspirale befinden, auch noch ein Instrument zur Messung etwa in diesem Kreise vorhandener constanter Ströme, und ein Instrument zur Aufhebung solcher Ströme verbunden sind, nur noch Folgendes zu bemerken.

Obwohl ich mich bei der Ausführung dieser Versuche der werthvollen Beihilfe des Herrn stud. med. Fuchs zu erfreuen hatte, so war es doch erwünscht, die Apparate über keinen zu grossen Raum zu vertheilen, also auch das Schlitteninductorium auf dem Arbeitstische bei dem Ablesefernrohre aufzustellen. Die Besorgniss, ein durch die primäre Rolle des Schlittenapparates kreisender Strom möchte die Boussole merklich afficiren, erwies sich, besonders nach Entfernung der Eisendrähte aus der primären Rolle, als unbegründet; es gelang vielmehr ganz leicht,

---

[1] Siehe deren Beschreibung in: E. Fleischl, Untersuchung über die Gesetze der Nervenerregung, II. Abhandlung, über die Wirkung secundärer elektrischer Ströme auf Nerven. Diese Berichte, LXXIV. Bd. III. Abth. pag. 2 und 3 des Sep. Abdr. Fig. 1 u. 2. — Ich habe diese Elektroden jetzt insoferne etwas verbessert, als ich den Pinsel nicht mehr mit dem Stück Federpose, in welches er gefasst ist, eingypse, sondern letzteres fortlasse, wodurch der Widerstand sehr verringert wird. Ich lasse das Stück Glasrohr, an dem Ende, an welches der Pinsel kommt, vor der Lampe etwas zusammenlaufen, nämlich so weit, dass der Haarbausch des Pinsels, da wo er am dicksten ist, nicht mehr hindurch kann. Ich schneide den Pinsel ein paar Millimeter über dem unteren Ende der Federpose quer ab; befeuchte ihn, so dass die Haare von selbst in richtiger Lage aneinanderhalten und entferne dann das letzte Stück Pose und jeden etwa noch übrigen Rest der Fassung. Dann stecke ich den feuchten Pinsel mit der Spitze voran durch das weite Ende in das Glasröhrchen, und schiebe ihn so weit vor, als es geht. Dann folgen auf demselben Wege etwas Gypspulver und einige Tropfen Wasser. Es ist gut, so lang der Gypsbrei weich ist, dafür zu sorgen, dass er möglichst innig zwischen die oberen Enden der Pinselhaare eindringe.

Mit einem Paare solcher Elektroden arbeite ich nunmehr seit drei Jahren ohne irgend eine Störung, und ohne je mehr als eine halbe Minute Zeit zu ihrer Instandsetzung zu bedürfen.

dem Inductionsapparate eine solche Lage gegen die Boussole zu geben, dass dessen Thätigkeit von dieser durch keinen merklichen Ausschlag angezeigt wurde.

Ferner kreisen bei unserer Anordnung die reizenden Inductionsströme auch durch die Boussolrollen. Ich hatte darum anfänglich daran gedacht, für den Moment der Reizung die Boussole durch eine Schliessung von gleichem Widerstande zu ersetzen, gab jedoch dieses Vorhaben auf, nachdem ich mich davon überzeugt hatte, dass bei der Empfindlichkeit der von mir verwendeten Nerven, und überhaupt unter den gegebenen Bedingungen, die durch die Reizströme an der Boussole hervorgebrachten Ausschläge bei 2·5 Meter Entfernung der Scala vom Spiegel nicht über fünf Theilstriche der Millimeterscala betrugen, dass also keinerlei Gefahr für die Boussole vorhanden war.

Während der Vorbereitungen zum Versuche sind die Reiber der Schlüssel *S* und *S'* vorgeschoben, so dass der Compensationsapparat und die Boussole vom Nervenkreise abgeblendet sind.

Diese Vorbereitungen bestanden darin, dass die Elektroden dem Nerven in dem oberen oder unteren Pole der untersten Strecke angelegt wurden, und dann jene Entfernung der Spiralen des Inductoriums von einander aufgesucht wurde, bei welcher die günstige Stromrichtung maximale Zuckung, die ungünstige gar keine Zuckung auslöste.

Der Versuch selbst wurde nun folgendermassen ausgeführt:

Es wurde durch Öffnung bei *S* der im Kreise des Nerven vorhandene Strom,[1] an der Boussole gemessen, und nun abermals die Wirkung beider Stromrichtungen erprobt,[2] und natürlicherweise der früher constatirten gleich befunden.

Dann räumte ich, das Auge am Ablesefernrohr, die Nervenschliessung *S'* vor dem Compensator weg, und bewegte nun die Brücke des Rheonoms mit der Hand langsam aus ihrer Null-

---

[1] Die Resultirende aus dem Nervenstrom und einem etwa vorhandenen, jedenfalls äusserst schwachen, Elektrodenstrome.

[2] Hiefür musste manchmal die Stellung der Inductionsspirale noch ein wenig gegen die frühere geändert werden, aus leicht einzusehenden Gründen: veränderter Widerstand und Selbstinductiou in den Boussolegewinden.

stellung in der geeigneten Richtung und schob hiedurch denselben Theilstrich der Scala wieder vor den Faden des Oculares, welcher vor Einschaltung der Boussole in den Versuchskreis einspielte, das heisst: ich compensirte den Strom im Nervenkreise vollständig, und prüfte bei dieser Anordnung die Wirkung beider Stromrichtungen. Diese Prüfung ergab ausnahmslos, wie die im Versuche vorhergegangenen, jene Unterschiede in der Wirksamkeit, welche durch mein Zuckungsgesetz bestimmt sind, maximale Wirkung der einen, gar keine Wirkung der anderen Richtung, oder, wenn man sich näher am Äquator befand, Überwiegen der gegen den Äquator zu gewendeten Ströme; während sie unter Voraussetzung der Richtigkeit von Grützner's Anschauung die Reaction des Äquators, also gar keinen Unterschied der Richtungen, hätte ergeben müssen.

Ganz unabhängig von einem constanten Nervenstrome können aus den angeführten theoretischen Gründen, die Effecte beider Richtungen des Reizstromes nicht sein. Um mich und Andere aber davon zu überzeugen, in wie hohem Grade sie von solchen constanten Strömen im Nerven unabhängig sind, habe ich den Compensator nicht nur, wie beschrieben, zu deren völliger Aufhebung benützt, sondern sogar zu ihrer Umkehrung, ja ich habe den in seiner Richtung verkehrten Strom die mehrfache (z. B. fünffache) Stärke des ursprünglichen erreichen lassen, und mein Zuckungsgesetz erprobt, dann wieder den Strom in seiner ursprünglichen Richtung, aber mehrfacher Stärke applicirt, Alles, ohne je eine Ausnahme von dem durch das Zuckungsgesetz ausgedrückten Verhalten zu finden, welches die Nerven auch ohne Compensation darboten.

Viele derartige Versuche hier wiederzugeben, hätte wohl keinen Zweck. Die beiden folgenden werden genügen. Sie sind unmittelbar nach einander am selben Nerven angestellt.

I. Oberer Pol der untersten Strecke. Elektrodendistanz 12^{mm}.

a) Ohne Compensation. Maximale Wirkung des absteigenden Stromes. Keine Wirkung des aufsteigenden Stromes.

b) Boussole eingeschaltet. Dieselbe geht von 582 auf 578.[1] Compensation bis auf die ursprüngliche Stellung von 582. Die Wirkung beider Ströme wie anfangs.

c) Übercompensation bis auf Einstellung 600. Die Wirkung beider Ströme wie anfangs.

d) Einstellung mittels Compensators auf 560. Die Wirkung beider Ströme wie anfangs.

II. Unterer Pol der untersten Strecke, nahe am Muskel. Elektrodendistanz verringert auf $2 \cdot 5^{mm}$.

a) Ohne Compensation. Maximale Wirkung der aufsteigenden Ströme, keine Wirkung der absteigenden Ströme.

b) Boussole eingeschaltet. Dieselbe geht von 590 auf 599, zeigt also, wie in Grützner's Beobachtungen, einen dem früheren entgegengesetzten Nervenstrom.

Compensation auf die ursprüngliche Stellung von 590. Die Wirkung beider Ströme wie anfangs.

c) Übercompensation bis auf Einstellung von 584. Die Wirkung beider Ströme wie anfangs.

Aus den Ergebnissen dieser Versuche lässt sich wohl nur ein Schluss ziehen, nämlich der: dass die Grützner'sche Erklärung meines Zuckungsgesetzes unzulänglich ist. Gegen Grützner's Voraussetzungen und Folgerungen lässt sich von theoretischer Seite nichts einwenden; es muss also zugegeben werden, dass der von ihm behauptete Einfluss überhaupt existirt, auf der anderen Seite jedoch zeigen meine Versuche, dass dieser Einfluss — weit entfernt davon, das Verhalten einzelner Nervenstellen gegen reizende Ströme ausschliesslich zu bestimmen — vielmehr gegenüber der Eigenthümlichkeit dieser Stellen in ihrem Verhalten gegen beide Stromrichtungen ganz in den Hintergrund tritt, und als unwesentlich bezeichnet werden muss. Ganz dasselbe gilt natürlicherweise auch für jenen Versuch, das Zuckungsgesetz aus den Nervenströmen zu erklären, welcher sich auf die elektrotonisirende Wirkung dieser Ströme beruft.

Worauf die von mir beobachtete Eigenthümlichkeit der „Strecken" beruhe, lässt sich, soviel ich sehe, auch nicht ver-

[1] Die Empfindlichkeit der Boussole war absichtlich nicht gross gemacht.

muthungsweise sagen. Dass sie nicht unabhängig von den anatomischen Merkmalen sei, welche die Nerven an den „Folgepunkten“ darbieten, ist wohl sehr wahrscheinlich; die Art des Zusammenhanges scheint mir aber vorderhand noch ganz dunkel zu sein. Aber man darf sich wohl fragen, ob angesichts des aus Segmenten zusammengesetzten Aufbaues unseres ganzen Bewegungsapparates, eine Segmentirung der Nerven in dem von mir vertretenen Sinne denn gar so befremdend erscheint, dass man von vornherein in ihr nur etwas ganz Zufälliges und Nebensächliches erblicken kann.

Ferner geht schon aus der „Wanderung des Äquators“ und dann aus Versuchen, welche Grützner am Anfange seiner Abhandlung beschreibt, und welche vielleicht sehr mit der Wanderung des Äquators zusammenhängen, hervor, dass die Anbringung künstlicher Querschnitte, oder anderer, mit diesen gleichwerthiger Läsionen am Nerven, von sehr erheblichem Einflusse ist auf die Reaction seiner einzelnen Stellen beiden Stromrichtungen gegenüber.

Aber auch bezüglich dieses Einflusses muss gesagt werden, dass er nicht auf dem von Grützner vermutheten Wege sich vollziehe, sondern, dass er seiner Natur nach ebenfalls noch ganz dunkel ist.

Es ist nun noch eines Punktes Erwähnung zu thun. Grützner[1] macht mit Recht darauf aufmerksam, dass, wenn ein Nerven- oder Muskelstrom compensirt wird, dies eigentlich nicht mehr bedeute, als dass nunmehr die beiden Fusspunkte des ableitenden Bogens auf derselben Niveaufläche liegen.

Dies hindere aber nicht, dass im Inneren des Nerven oder Muskels noch Spannungsunterschiede weiter bestehen, welche zu Strömen Veranlassung geben, die sich im Innern dieser Gewebe abgleichen. Die Nerven sind eben in Wirklichkeit keine linearen Leiter, und die Muskeln sind es noch viel weniger. Ich habe aus Rücksicht auf diese Bemerkung meine Versuche so ein-

---

[1] l. c. pag. 171.

gerichtet, dass ein möglichst geringer Fehler durch die Betrachtung des Nerven als linearer Leiter eingeführt wird. Der Satz, dass durch Compensation der Strom in einem Zweige aufgehoben sein kann, ohne dass er es darum auch in anderen Zweigen der Leitung sein müsse, hat mich veranlasst, jede künstliche Stromverzweigung in meinen Versuchen auszuschliessen. Aus demselben Grunde habe ich auch meine ursprüngliche Absicht, die Versuche auch an Nerven auszuführen, die auf kurze Strecke möglichst schonend blossgelegt, im Übrigen in ihrer natürlichen Lage und Umgebung blieben, gar nicht ausgeführt. Bei der von mir getroffenen Anordnung existirt nur ein Kreis. Ferner wurde die interpolare Strecke — einige Fälle ausgenommen — so lang wie möglich gemacht, um die Querdimensionen des Nerven gegen seine Länge möglichst klein zu machen. Auch habe ich nicht nur die Spitzen der Elektroden dem Nerven angelegt, sondern diesen zwischen den Haaren der Pinsel durchziehen lassen, so dass die Ableitung an der ganzen Peripherie des Nerven und in erheblicher Ausdehnung geschah.

Fig. 2.

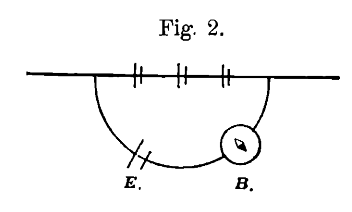


Fig. 2 gibt ein Schema der Anordnung. Die gerade Linie ist der Nerv, dessen extrapolare Verbindungen, wie schon erwähnt, von einander isolirt waren.

Die längeren und kürzeren Querstriche durch den Nerven sollen die in demselben vorhandenen elektromotorischen Kräfte darstellen.

E repräsentirt die aus dem Compensator entnommene elektromotorische Kraft. Dieselbe wurde so gross gemacht, bis sie an der Boussole (*B*) den ersteren im Bogen das Gleichgewicht hielt.

Nachdem aber (bei gleichbleibendem Resultate) die elektromotorische Kraft bei *E* um das Vielfache grösser genommen wurde, als die Summe der aus dem Nerven in den Bogen gesendeten Kräfte, wird man wohl nicht zweifeln, dass in solchem Falle der ganze Nerv von einem Strome im Sinne der Kraft *E*, also im umgekehrten Sinne der in ihm selbst vorhandenen Kräfte durchflossen war. Von Einrichtungen im Nerven, welche sich dieser Anschauung nicht unterordnen, weiss man eben nichts,

kann sie also auch für die Erklärung des Zuckungsgesetzes nicht geltend machen.

Die Anhänger jener Anschauung, nach welcher die von einem mit Querschnitt versehenen Nerven ausgehenden Ströme ihre Ursache in dem Fortschreiten einer das Absterben demarkirenden Querfläche haben, die elektromotorisch wirksam ist, werden gegen mein Raisonnement natürlich noch viel weniger etwas einzuwenden haben, als diejenigen, welche elektromotorische Molekeln im ganzen Nerven annehmen.

Ich habe überhaupt die am Galvanometer nachweisbaren Ströme, welche bei diesen Versuchen vorkamen, ohne Einfluss auf die Reaction des Nerven gegen beide Stromrichtungen gefunden; mit Ausnahme der Fälle, in welchen eben der Äquator symmetrisch zwischen den Elektroden lag. Hier brachte natürlich ein vom Compensator aus durch den Nerven gesendeter Strom, welcher also am Galvanometer nachweisbar war, eine Reaction zu Gunsten der einen Stromrichtung hervor, aber das Verhalten einer im Pole gelegenen Nervenstelle gegen beide Stromrichtungen konnte weder durch Compensation noch durch Übercompensation (letzteres innerhalb der von mir angewandten Grössen) auf das Verhalten des Äquators gebracht oder gar umgekehrt werden, wurde vielmehr gar nicht sichtlich beeinflusst.

Nur wer einer Anschauung über das Wesen der elektrischen Vorgänge im Nerven huldigt, die es ihm erlaubt, in einem von einem Strome in bestimmtem Sinne durchflossenen Nerven, kleine, im Inneren desselben geschlossene Ströme anzunehmen, die eine entgegengesetzte Richtung im Nerven haben, und die gleichzeitig mit dem Hauptstrome existiren, wird sich durch mein Raisonnement nicht befriedigt fühlen. Ich glaube aber nicht, dass irgend eine bekannte Thatsache dazu berechtigt, einen von einem sehr erheblichen absteigenden Strome durchflossenen Nerven, als aus Elementen sich zusammengesetzt zu denken, die aufsteigend durchflossen sind. Aber selbst, wer eine solche Ansicht zu der seinigen gemacht hat, und also einen Nerven mit compensirtem oder übercompensirtem Strome nicht für stromlos oder übercompensirt gelten lässt, und folglich meine ganze bisher vorgebrachte Argumentation verwirft; der wird doch zugeben, dass, wenn ein Nervenstück von vorn herein, ohne Compensation, sich als

elektromotorisch unwirksam erwiesen hat, dieses Nervenstück unter Voraussetzung der Richtigkeit von Grützner's Erklärung keine andere Reaction gegen reizende Ströme geben dürfte, als die des Äquators. Das ist aber keineswegs der Fall.

Ich habe schon oben erwähnt, dass meine Versuche über Abtasten des Nerven mit der Boussole mir andere Resultate ergaben, als Grützner sie erhielt. So erhielt ich von einem mit möglichster Schonung zwischen Knie und Hüfte frei präparirten Nerven nur von der untersten, etwa 15 Millimeter langen Stelle, im Nerven aufsteigende Ströme, die ganze übrige Länge erwies sich an der sehr empfindlich gestellten Boussole als stromlos; zerfiel jedoch in einen Äquator und einen oberen Pol, an welch' letzterem sich das normale, starke Überwiegen der absteigenden Ströme leicht nachweisen liess. Nach Beendigung der Reizungen war dieser ganze obere Pol noch immer elektromotorisch ebenso unwirksam, wie seine unterste Grenze, der wirkliche Äquator.

Nach alledem bin ich wohl berechtigt zu sagen: Das Gesetz der Strecken und Pole rührt **nicht** von den Eigenströmen des Nerven her.
